

Möglichkeiten zur Reduktion der Simulationszeiten mit LS-DYNA und eta/ DYNAFORM



Markus Künzel

Inhalt

1. Verwendetes Simulationsmodell

2. Einflussparameter auf die Rechenzeiten

- Positionierung der Werkzeuge
- Minimale Elementkantenlänge nach der adaptiven Vernetzung
- Geschwindigkeit der Werkzeuge
- Verwendeter Elementtyp
- Ausnutzen der Bauteilsymmetrie

3. Selektive Massenskalierung

- Was ist Massenskalierung
- Unterschied zwischen konventioneller und selektiver Massenskalierung
- Bestimmung des Zeitschritts DT2MS für die selektive Massenskalierung
- Vergleich der Simulationsergebnisse und Rechenzeiten
- Trouble Shooting: Wie erkenne ich, ob der eingestellte Zeitschritt zu groß ist

4. Zusammenfassung



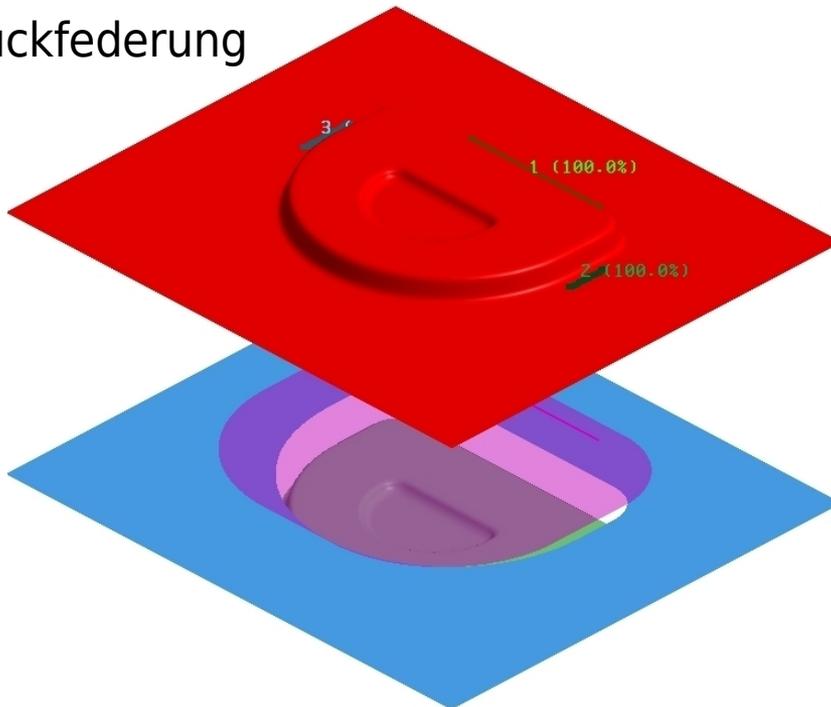
1. Simulationsmodell

Verwendetes Simulationsmodell: D-YNAmore Werkzeug

Modell wurde vollständig in der DYNAFORM Post-Prozessor-Umgebung konstruiert

Prozessablauf:

1. einfachwirkendes Tiefziehen
2. Beschnittoperation
3. Rückfederung



Relevante Eckdaten des Modells

Simulationsmodell:

- Elementtyp 16
- Standard Kontakt
- (*CONTACT_FORMING_ONE_WAY...)
- Materialmodell MAT_036
- Elementanzahl = 87460
- 5 Int.punkte über der Blechd.

Berechnungsplattform

- Quadcore Intel i7 2600K Workstation
- 4 Kerne/Lizenzen verwendet

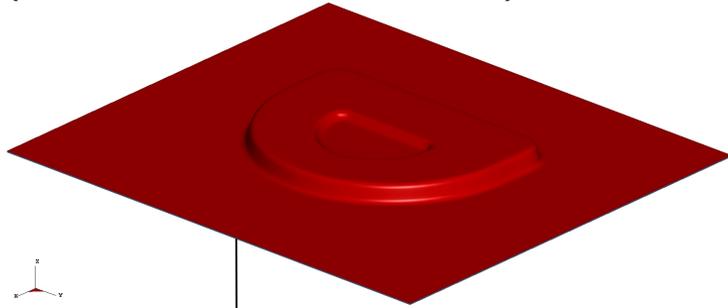


2. Einflussparameter auf die Rechenzeiten

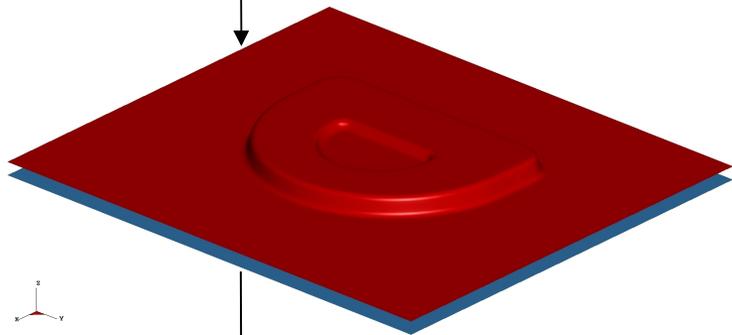
Einflussparameter auf die Rechenzeiten

Ausgangsmodell

(Rechenzeit = **17min 34sec**)



Verfahrweg der Matrize um 20mm erhöht

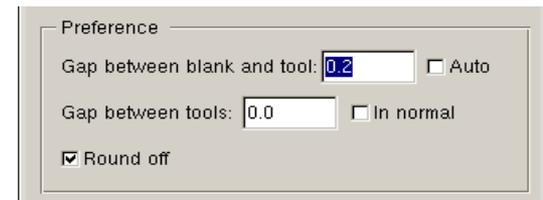


Rechenzeit = **21min 35sec**

Vermeiden von unnötig hohen Verfahrwegen

Unnötig große Verfahrwege erhöhen die Rechenzeit und können zu Kontaktproblemen führen, da das Werkzeug mit sehr hoher Geschwindigkeit auf die Platine trifft:

- Verfahrwege möglichst gering halten!
- Abstand zwischen Platine und Werkzeug in DYNAFORM manuell einstellen.



- Bei mehrstufigen Prozessen *.dynain-File der vorherigen Stufe zum Positionieren der Werkzeuge nutzen!

Einflussparameter auf die Rechenzeiten

Minimale Elementkantenlänge nach der adaptiven Vernetzung

Faustformel: Mindestens 3 (bis 5) Elemente auf dem KLEINSTEN Radius der Werkzeuggeometrie!

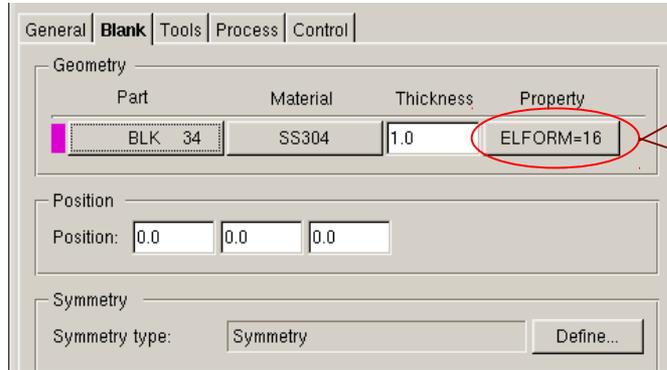
- Die meisten Bauteilgeometrien lassen sich mit einer minimalen Elementkantenlänge von 1mm nach der Adaptivität ausreichend genau abbilden!
- **Aber:**
Lassen die Radien im Bauteil auch eine gröbere Vernetzung zu, wird durch eine unnötig feine Vernetzung **wertvolle Rechenzeit verschenkt!**

Geschwindigkeit der Werkzeuge

- Die Werkzeuggeschwindigkeit hat großen Einfluss auf die Rechengeschwindigkeit!
 - **Closing:** 2000 mm/s
 - **Drawing:** 5000 mm/s
- Es wird empfohlen die Werkzeuggeschwindigkeiten nicht weiter zu erhöhen, da dies leicht zu Kontaktproblemen führt!

Einflussparameter auf die Rechenzeiten

Verwendete Elementtyp



Rechenzeit (**Elementtyp 16**) = **17min 34sec**
[Fully Integrated]

Rechenzeit (**Elementtyp 2**) = **11min 10sec**
[Belytschko-Tsay]

Elementtyp 2: Geeignet für Machbarkeitsanalysen, geringe Rechenzeit, bei ausreichend feinem Netz > gute Abbildungsgenauigkeit!

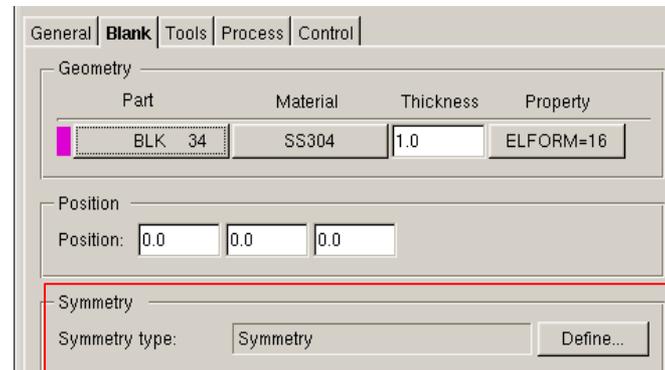
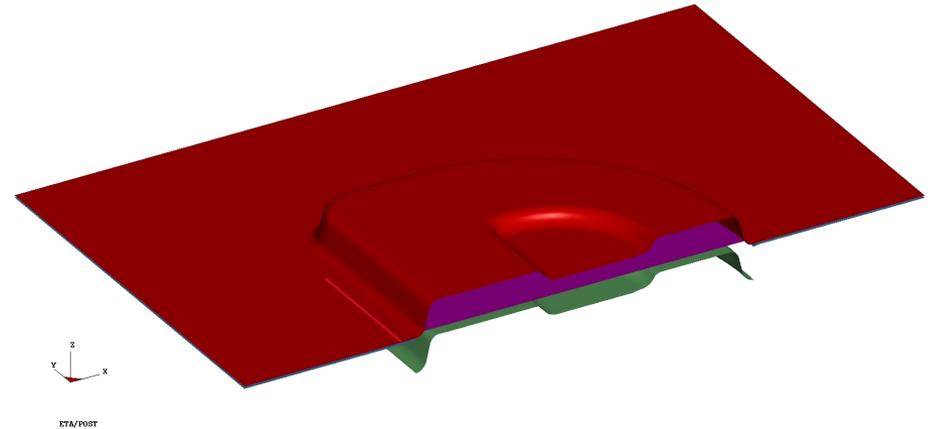
Elementtyp 16: Für Rücksprunganalysen, höhere Abbildungsgenauigkeit wie Typ 2, insbesondere im Hinblick auf Spannungsverteilungen, besseres Konvergenzverhalten bei impliziten Rechnungen (Rückfederung).

➔ Elementtyp nicht innerhalb einer Prozesskette wechseln: Bei Rücksprunganalysen Typ 16 für die **gesamte Prozesskette** verwenden!

Einflussparameter auf die Rechenzeiten

Ausnutzen der Bauteilsymmetrie

Die Berechnung eines halben Bauteils benötigt ebenfalls die halbe Zeit. Somit lässt sich eine deutliche Reduktion der Rechenzeiten erzielen.





3. Selektive Massenskalierung

Was ist Selektive Massenskalierung?

Selektive Massenskalierung ist ein Verfahren, welches sich insbesondere im Bereich der Blechumformung für eine merkliche Reduktion der Rechenzeiten einsetzen lässt. Es ermöglicht nicht nur eine Verringerung der Rechenzeit, sondern verspricht zudem genauere Simulationsergebnisse.

Selektive Massenskalierung

Wie funktioniert Massenskalierung?

Bewegungsgleichung $\mathbf{a}_n = \mathbf{M}^{-1} (\mathbf{f}_n^e + \mathbf{f}_n^i)$

Gesamtmassenmatrix $\mathbf{M} = \sum_e \mathbf{m}_e$

Kritischer Zeitschritt $\Delta t \approx \min_e \sqrt{\frac{\mathbf{m}_e}{El_e}}$

Massenskalierung $\mathbf{M} = \sum_e (\mathbf{m}_e + \Delta \mathbf{m}_e)$

\mathbf{m}_e = Elementmassenmatrix

\mathbf{a}_n = Beschleunigungen

\mathbf{f}_e = Externe Kräfte

\mathbf{f}_i = Interne Kräfte

l_e = Elementlänge

Die zusätzliche Masse führt zu einer Vergrößerung des kritischen Zeitschritts:

$$\longrightarrow \Delta t \approx \min_e \sqrt{\frac{\mathbf{m}_e + \Delta \mathbf{m}_e}{El_e}}$$

Selektive Massenskalierung

konventionelle Massenskalierung:
$$\Delta \mathbf{m}_e = \frac{\Delta m_e}{n} \mathbf{I}$$

- Das Hinzufügen der zusätzlichen (konzentrierten) Elementmasse beeinflusst alle Moden insbesondere die Starrkörpermoden in gleicher Weise
- Die daraus resultierenden Trägheitseffekte limitieren die maximale Menge der zusätzlichen Massen

selektive Massenskalierung:
$$\Delta \mathbf{m}_e = \frac{\Delta m_e}{n} \left(\mathbf{I} - \sum_i \mathbf{e}_i \mathbf{e}_i^T \right)$$

wobei für die Starrkörpermoden gilt: $\Delta \mathbf{m}_e \mathbf{e}_i = 0$ → **Geringer Einfluss auf die Starrkörpermoden**

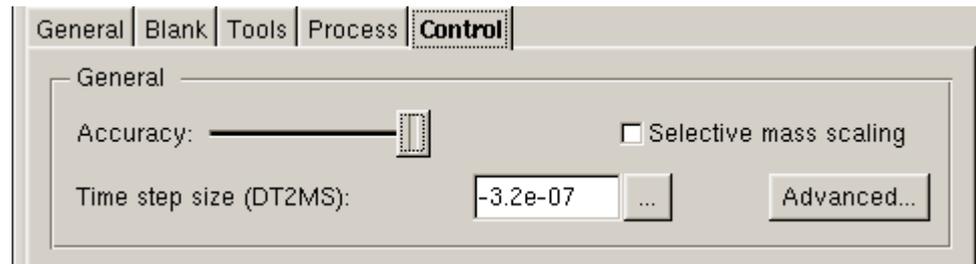
- Nur hochfrequente Moden werden durch die zusätzliche Masse beeinflusst, welche nur einen geringen Einfluss auf die Strukturantwort besitzen
- Der Einfluss der zusätzlichen Masse auf die Niederfrequente Moden ist gering

Selektive Massenskalierung ermöglicht das Hinzufügen von mehr zusätzlicher Masse bei geringem Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften was größere Zeitschritte ermöglicht

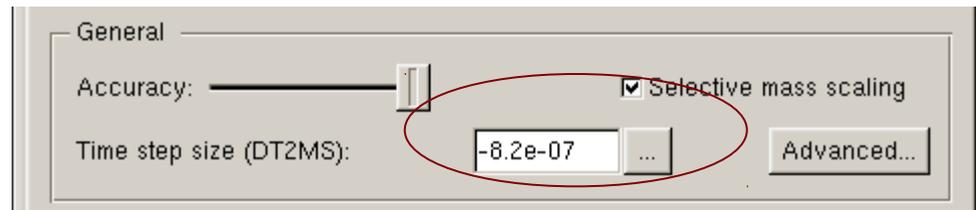
Selektive Massenskalierung

Einstellen der Selektiven Massenskalierung in eta DYNIFORM

Bei einer minimalen Elementkantenlänge von 1mm (nach der adaptiven Verfeinerung) wird bei konventioneller Massenskalierung ein Zeitschritt zwischen $DT2MS=-1.2e-07$ und $-4.2e-07$ empfohlen.



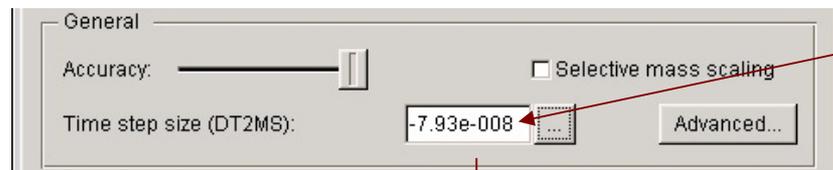
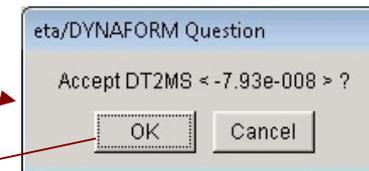
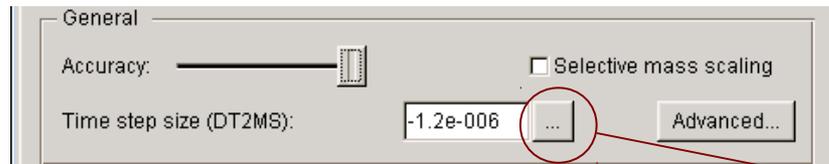
Mithilfe der Selektiven Massenskalierung kann dieser Zeitschritt (bei identischer minimaler Elementkantenlänge) auf $DT2MS=-8.2e-07$ gesteigert werden. Die Selektive Massenskalierung lässt sich einfach durch Setzen des entsprechenden Hakens aktivieren.



Bei einer minimalen Elementkantenlänge von 1mm und einem Zeitschritt von $DT2MS=-8.2e-07$ wurden bereits erfolgreich Vergleichsrechnungen unterschiedlicher Bauteile durchgeführt.

Selektive Massenskalisierung - Bestimmung des Zeitschritts

Der Zeitschritt für die konventionelle Massenskalisierung lässt sich mit Dynaform automatisch berechnen. Hierzu genügt das Anklicken des Feldes [...] hinter dem Eingabefeld des Zeitschritts. Bei Verwendung der Selektiven Massenskalisierung kann der durch Dynaform berechnete Wert um den **Faktor 7** innerhalb der vorgeschlagenen Zehnerpotenz erhöht werden. Beträgt der durch Dynaform berechnete Zeitschritt beispielsweise **DT2MS=-7.83e-008**, kann bei Verwendung der Selektiven Massenskalisierung ein Zeitschritt von **DT2MS=-4.83e-007** verwendet werden.



**Addition des Faktors 7
innerhalb der Zehnerpotenz**



Selektive Massenskalierung - Wichtige Hinweise

Die zuvor angegebene Richtlinie zur Bestimmung des Zeitschritts für SMS stellt eine Hilfestellung für den unerfahrenen LS-DYNA-Benutzer dar. Diese Formel basiert auf Erfahrungswerten: Ihre Gültigkeit kann bisher nicht für alle mit eta/ DYNAFORM möglichen Anwendungen garantiert werden.

Tendenziell sind die angegebenen Werte konservativ ausgelegt. Eine weitere Vergrößerung des Zeitschritts $DT2MS$ ist abhängig vom Simulationsmodell denkbar.

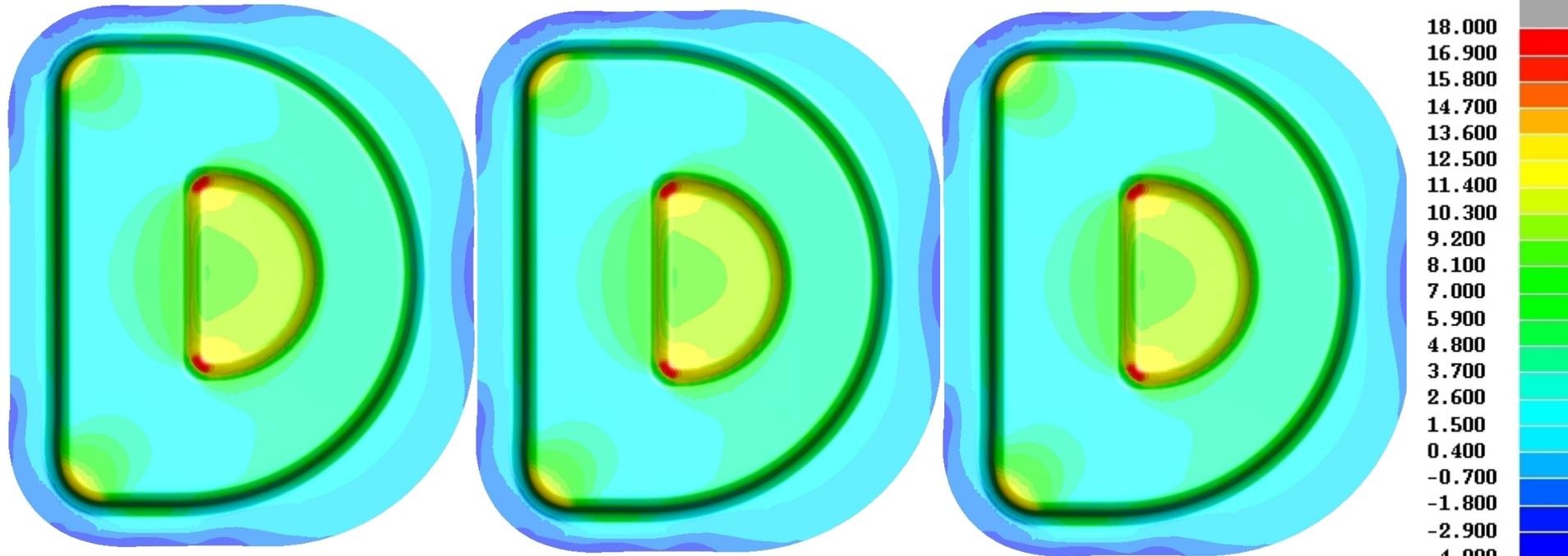
Jedoch können zu große Zeitschritte ebenfalls die Simulationsergebnisse verfälschen. Daher sollte für die ersten Simulationen mit Selektiver Massenskalierung die „Sliding Energy“ überprüft werden. Eine Beschreibung hierzu ist am Ende dieser Präsentation zu finden.

Die deutliche Vergrößerung des Zeitschritts durch die Selektive Massenskalierung führt in den meisten Fällen zu einer merklichen Reduktion der Rechenzeiten. Bei einer minimalen Elementkantenlänge von 1mm und einem Zeitschritt von $DT2MS = 1.2e-7$ mit konventioneller Massenskalierung kann durch SMS und $DT2MS = 8.2e-7$ in etwa eine Halbierung der Rechenzeit erreicht werden! Jedoch stellt die SMS das aufwändigere Verfahren dar, was bedeutet, dass es bei identischer Zeitschrittgröße zu höheren Rechenzeiten wie bei der konventionellen Massenskalierung führt.

Im Folgenden werden an einem Beispiel Simulationsergebnisse mit und ohne SMS einander gegenübergestellt.

Vergleiche SMS und konventionelle Massenskalierung

Beispiel : D-YNAmore Werkzeug – Blechdickenreduktion (OP10)



Keine Massenskalierung

Dt2ms = 0.0

SLSFAC = 0.08

Rechenzeit = **52min 46sek**

4 CPUs / SMP/ (Intel i7 2600)

Konvent. Massenskalierung

Dt2ms = -3.2E-07

SLSFAC = 0.08

Rechenzeit = **30min 49sek**

4 CPUs / SMP/ (Intel i7 2600)

Selektive Massenskalierung

Dt2ms = -8.2E-07

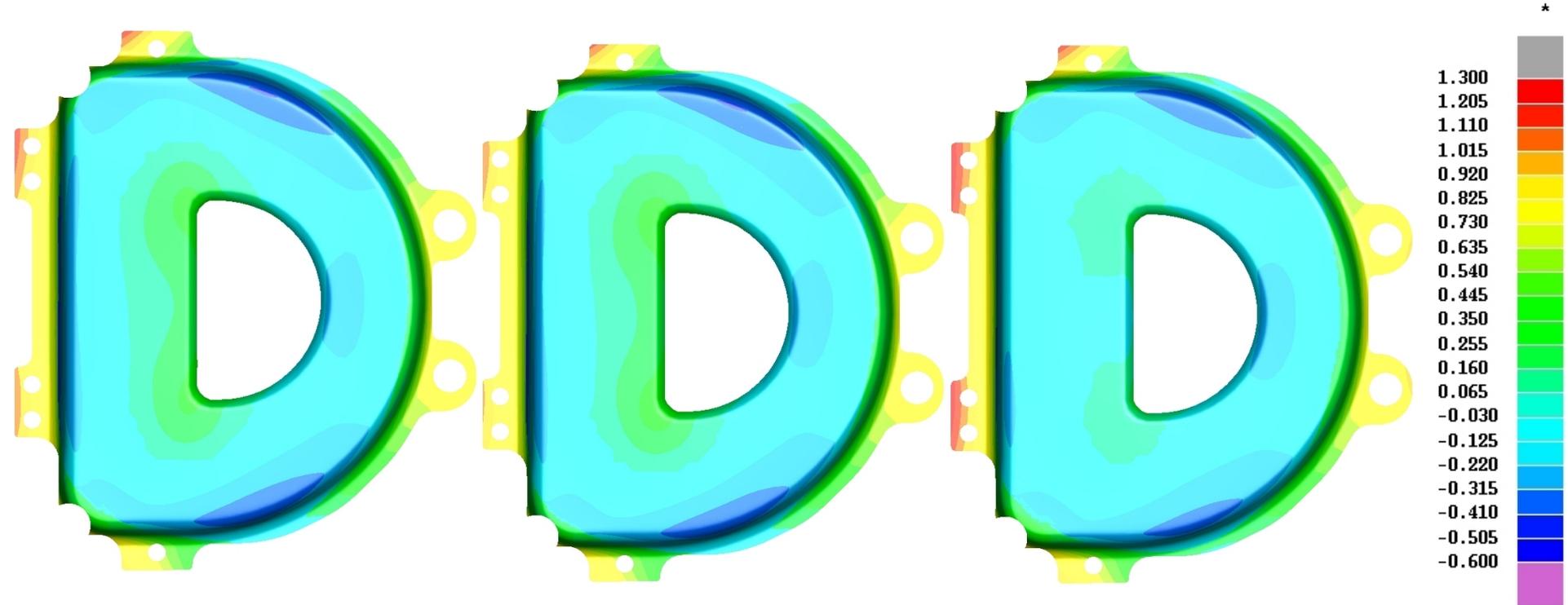
SLSFAC = 0.08

Rechenzeit = **17min 34sek**

4 CPUs / SMP/ (Intel i7 2600)

Vergleiche SMS und konventionelle Massenskalierung

Beispiel: D-YNAmore Werkzeug - Rücksprung (OP35)



1.300
1.205
1.110
1.015
0.920
0.825
0.730
0.635
0.540
0.445
0.350
0.255
0.160
0.065
-0.030
-0.125
-0.220
-0.315
-0.410
-0.505
-0.600

°
[mm]

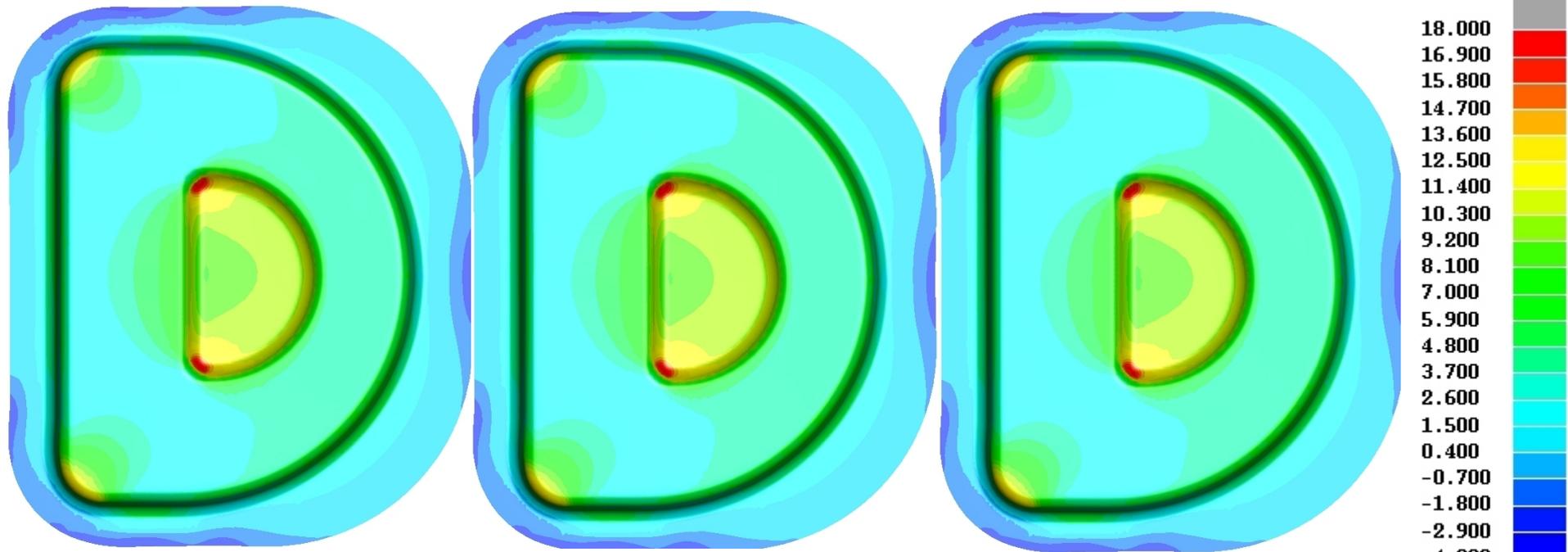
Keine Massenskalierung
Dt2ms = 0.0
SLSFAC = 0.08
Rechenzeit = **52min 46sek**
4 CPUs / SMP/ (Intel i7 2600)

Konvent. Massenskalierung
Dt2ms = -3.2E-07
SLSFAC = 0.08
Rechenzeit = **30min 49sek**
4 CPUs / SMP/ (Intel i7 2600)

Selektive Massenskalierung
Dt2ms = -8.2E-07
SLSFAC = 0.08
Rechenzeit = **17min 34sek**
4 CPUs / SMP/ (Intel i7 2600)

Vergleiche SMS und konventionelle Massenskalierung

Beispiel : D-YNAmore Werkzeug – Blechdickenreduktion (OP10)



Keine Massenskalierung

Dt2ms = 0.0

SLSFAC = 0.08

Rechenzeit = **52min 46sek**

4 CPUs / SMP/ (Intel i7 2600)

Konvent. Massenskalierung

Dt2ms = -6.2E-07

SLSFAC = 0.08

Rechenzeit = **9min 25sek**

4 CPUs / SMP/ (Intel i7 2600)

Selektive Massenskalierung

Dt2ms = 2.0E-06

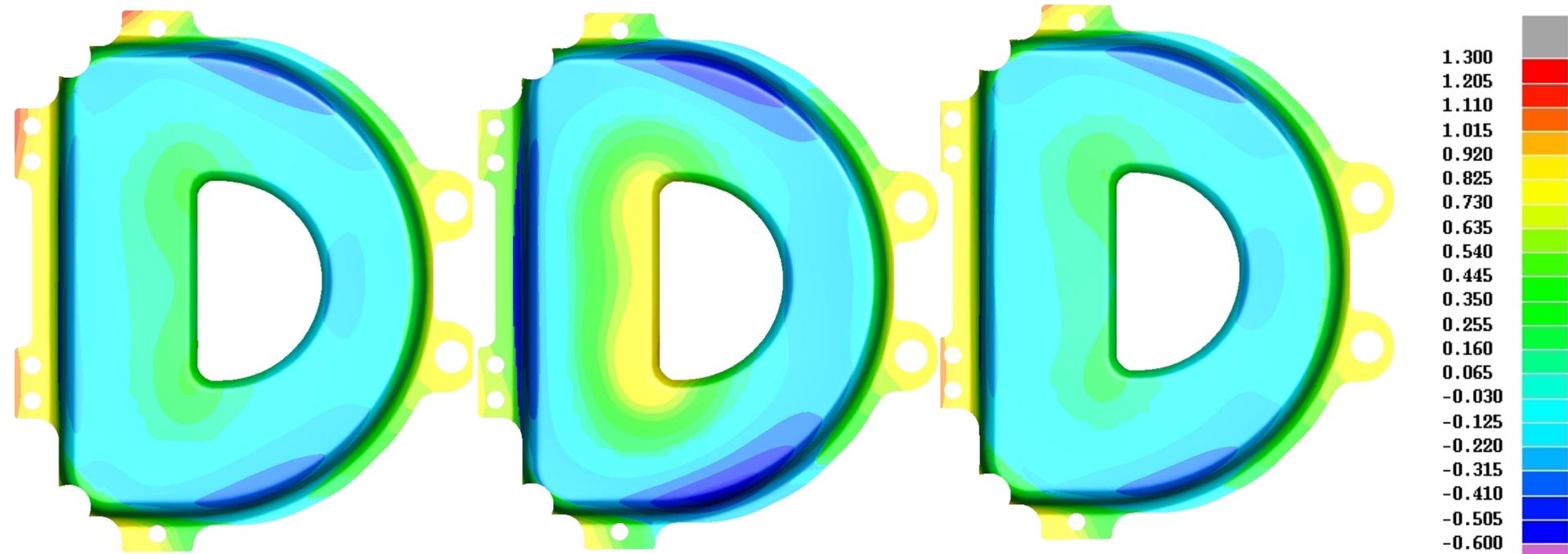
SLSFAC = 0.08

Rechenzeit = **5min 48sek**

4 CPUs / SMP/ (Intel i7 2600)

Vergleiche SMS und konventionelle Massenskalierung

Beispiel: D-YNAmore Werkzeug - Rücksprung (OP25)



Keine Massenskalierung

Dt2ms = 0.0

SLSFAC = 0.08

Rechenzeit = **52min 46sek**

4 CPUs / SMP/ (Intel i7 2600)

Konvent. Massenskalierung

Dt2ms = -6.2E-07

SLSFAC = 0.08

Rechenzeit = **9min 25sek**

4 CPUs / SMP/ (Intel i7 2600)

Selektive Massenskalierung

Dt2ms = -2.0E-06

SLSFAC = 0.08

Rechenzeit = **5min 48sek**

4 CPUs / SMP/ (Intel i7 2600)

[mm]

Selektive Massenskalierung - Trouble Shooting



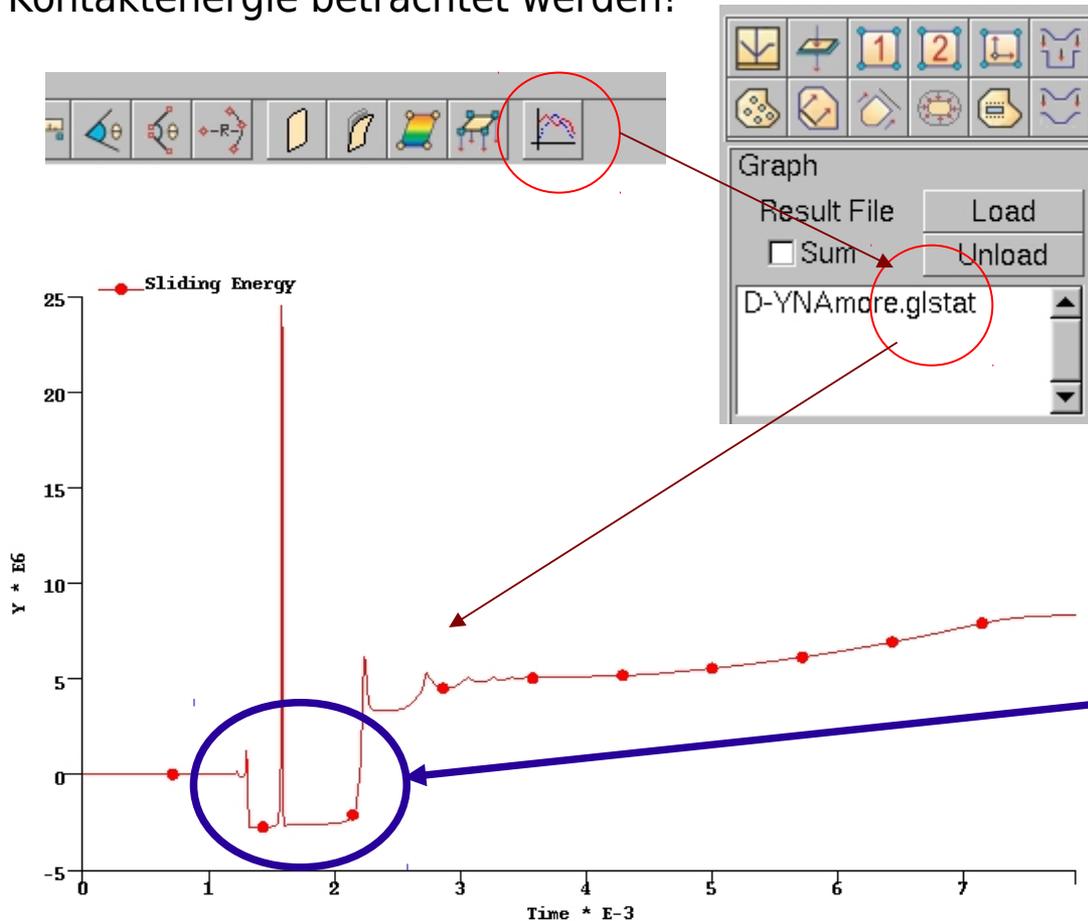
Selektive
Massenskalierung
Dt2ms = -5E-06
SLSFAC = 0.08

- Meistens treten Kontaktprobleme auf, welche häufig in Form von Beulenbildung oder Knotenschießern im Modell erkennbar sind.
- In den meisten Fällen bricht die Simulation daraufhin mit folgender Fehlermeldung ab:

```
*** Error 41158 (SOL+1158)  
Mass scaling acceleration error unable to converge,  
Try reducing the time step size for, dt2ms,  
in *CONTROL_TIMESTEP for mass scaled solutions.
```

Selektive Massenskalierung - Trouble Shooting

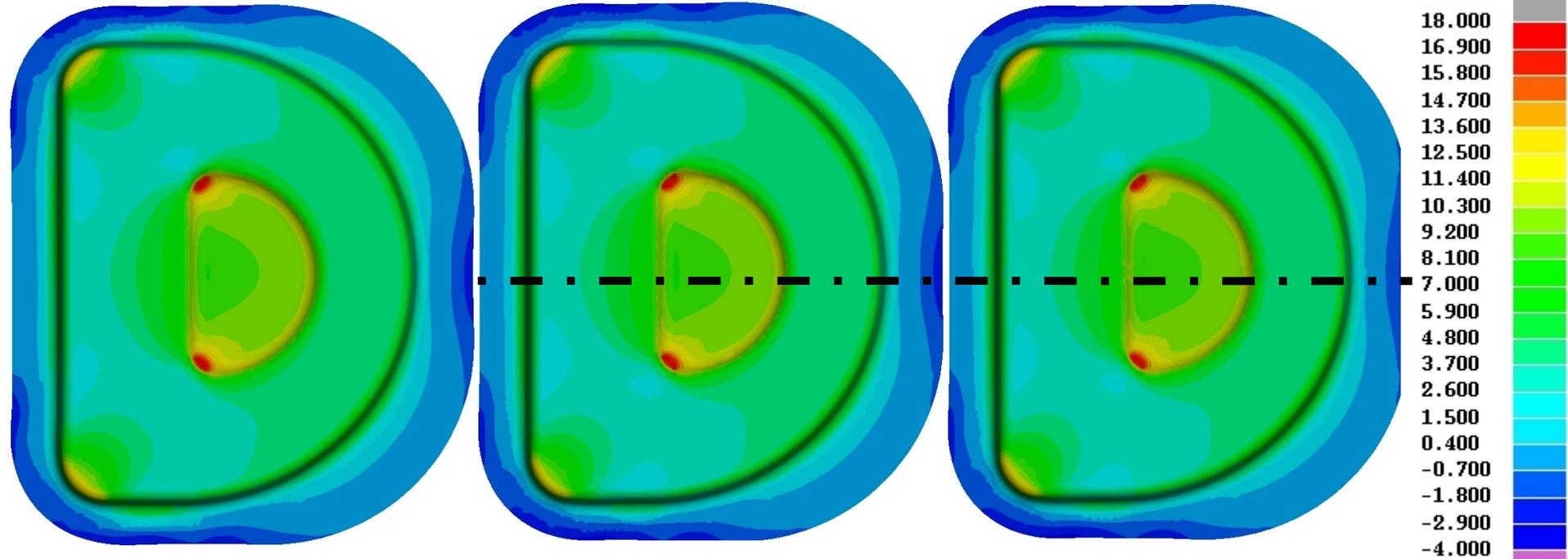
In seltenen Fällen sind die Kontaktprobleme allerdings nicht optisch anhand der Simulationsergebnisse erkennbar. Daher sollte bei großen Zeitschritten zusätzlich die Kontaktenergie betrachtet werden!



Sliding Energy darf keine negativen Werte annehmen, keinen stark oszillierenden Verlauf besitzen und nur Sprünge enthalten, wenn diese auf den Prozessablauf zurückzuführen sind.

4. Zusammenfassung

Mögliche Reduktion der Rechenzeit



Keine Massenskalierung

$Dt2ms = 0.0$

min. Elementkantenl.= 1mm

Rechenzeit = 52min 46sek

4 CPUs / SMP/ Intel i7 2600

Selektive Massenskalierung

Ausnutzung der
Bauteilsymmetrie

$Dt2ms = -8.2e-07$

min. Elementkantenl.= 1mm

Rechenzeit = 8min 52sek

4 CPUs / SMP/ (Intel i7 2600)

Selektive Massenskalierung

Ausnutzung der Bauteilsymmetrie

$Dt2ms = -2e-06$

min. Elementkantenl.= 2mm

Rechenzeit = 1min 46sek
[Mit Elementtyp=2: 1min 10sek]

4 CPUs / SMP/ (Intel i7 2600)

Zusammenfassung

- Mithilfe der Selektiven Massenskalierung ist eine deutliche Reduktion der Rechenzeiten bei teilweise besserer Ergebnisqualität möglich
- Die Optimierung aller relevanten Parameter kann zu einer erheblichen Reduktion der Rechenzeiten bei nahezu identischer Ergebnisqualität führen

Allgemeine Empfehlungen:

- Minimale Elementgröße sinnvoll wählen
- Keine unnötigen Verfahrenswege der Werkzeuge
- Bauteilsymmetrie ausnutzen

Machbarkeitsanalysen:

- Selektive Massenskalierung einsetzen
- Elementtyp 2 verwenden

Rückfederungsanalyse:

- (Selektive Massenskalierung verwenden)
- Elementtyp 16 verwenden